

TNO-rapport
PML 1992-83

November 1992

Exemplaar no: 1

Methode ter bepaling van de
buitenoppervlakte van een helm

AD-A263 369



Auteur(s):

Ing. R.P.F. Joosten

DO-opdrachtnummer:

A89/KL/422

Rubriceringen

Rapport:

ONGERUBRICEERD

Titel:

ONGERUBRICEERD

Samenvatting:

ONGERUBRICEERD

Bijlage(n):

ONGERUBRICEERD

Oplage:

34

Aantal pagina's:

(incl. bijlagen, excl. distr. lijst en RDP)

33

Aantal bijlagen:

2

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

TNO

"Original contains color
plates. All other reproductions
will be in black and
white"

TDCK RAPPORTENCENTRALE

Frederikkazerne, gebouw 140
v/d Burchlaan 31 MPC 16A
TEL. : 070-3166394/6395
FAX. : (31) 070-3166202
Postbus 90701
2509 LS Den Haag



Samenvatting

Het gevechtshelmenproject binnen de Directie Materieel Koninklijke Landmacht (DMKL) is in de fase dat een aantal op de markt te verkrijgen helmen beoordeeld moeten worden op hun prestaties. De oppervlakte van de helm is hierbij van belang, omdat na bepaling van de oppervlakte en de massa van de helmschaal, de zgn. oppervlaktemassa van het gebruikte ballistische materiaal bepaald kan worden. Een laag quotiënt van oppervlaktemassa en ballistische limietsnelheid houdt een goede prestatie van het materiaal in.

Bij voorwerpen met onregelmatig gekromde oppervlakken is het lastig de buitenoppervlaktes te bepalen. Voor het geval het een helm betreft is een methode ontwikkeld, waarbij een groot aantal punten op het buitenoppervlak worden opgemeten. Hiertoe worden door de meetpunten driehoekige oppervlakte-elementen geformeerd waarvan de oppervlakte eenvoudig te berekenen is. Met deze driehoekige elementen wordt de contour van de helm benaderd waarbij de berekende oppervlakte systematisch te klein is. Er is een methode gevonden om dit te corrigeren. De nauwkeurigheid van de methode is voldoende groot en bedraagt -0,9% en +0,5%.

Voor een aantal op de markt verkrijgbare helmen is de oppervlakte bepaald en zijn de meetresultaten weergegeven in de rapportage.

Summary

The project within the DMKL for the procurement of combat helmets is in the phase that a number of commercially available helmets must be compared on their performances. The surface area of the helmet is an important factor, because after determining the surface area and the mass of the ballistic shell the so-called area density of the material used can be determined. A low quotient of area density and ballistic limit results into a good performance of the material.

For objects with an irregular curved surface it is difficult to determine the outside surface area. For the case of a helmet a method is developed whereby a large number of points on the outside surface are being measured. Therefore through the points triangular elements are formed for which the surface area can easily be calculated. By means of these triangular elements the shape of the helmet is approximated and the surface area calculated is systematically too small. A method to correct for this error has been developed. The accuracy of this method is good enough and is -0.9% en +0.5%. For a number of commercially available helmets the surface area has been determined and the results are reported here.

INHOUD

	SAMENVATTING/SUMMARY	2
	INHOUD	3
1	INLEIDING	4
2	BESCHRIJVING METHODE VOOR BEPALING OPPERVLAKTE	5
3	DE METING	8
4	VALIDATIE EN NAUWKEURIGHEID VAN DE BEREKENING	12
4.1	Inleiding	12
4.2	Controle van de programmacode	12
4.3	Meetfouten	14
4.4	Systematische fouten	17
5	MEET- EN BEREKENINGSRESULTATEN	20
5.1	National Plastics helm	20
5.2	Twaron helm van Schuberth Helme GmbH	22
5.3	Induyco helm	23
5.4	VDN helm	25
5.5	Polyetheen helm van Ulbricht's Wwe	26
6	CONCLUSIES	28
7	ONDERTEKENING	28
BIJLAGE 1	FORMAT VAN MEETGEGEVENS	
BIJLAGE 2	BESCHRIJVING VAN OPPERVLAKTE BEREKENINGS- PROGRAMMA EN STROOMSCHEMA	

1 INLEIDING

Om de buitenoppervlakte van een ruimtelijk lichaam te bepalen kunnen een aantal methoden worden gehanteerd. Bij regelmatig gevormde lichamen zoals bijvoorbeeld een bol of een kubus kan de oppervlakte eenvoudig middels algemeen bekende vergelijkingen worden berekend na de benodigde afmetingen van het voorwerp te hebben bepaald. Bij meer gecompliceerde gevormde lichamen daarentegen, zoals een helm, zullen ook meer gecompliceerde methoden gehanteerd moeten worden. In het verleden is een methode ontwikkeld waarbij de helm beplakt is met papierstroken waarvan de oppervlakte eenvoudig te berekenen is. Deze methode heeft als voordeel dat hij relatief eenvoudig is en als nadeel dat er geen verdere bewerkingen uit te voeren zijn op de meetresultaten. Om deze beperkingen en nadelen te ondervangen is een nieuwe meetmethode ontwikkeld.

Naast het buitenoppervlak van de helm kent men ook het neutrale vlak. Het neutrale vlak is gedefinieerd als het vlak dat op de halve dikte tussen het binnen- en het buitenoppervlak ligt. Het bepalen van de oppervlakte van dit vlak is interessant, omdat hierin impliciet de helmdikte is verdisconteerd. Na wege van de helmschaal kan de massa per oppervlakte eenheid worden bepaald (de zgn. oppervlaktemassa) door de massa te delen door de oppervlakte van het neutrale vlak. Op grond van de gevonden oppervlaktemassawaarden berekend met de neutrale oppervlakte kunnen de helmen onderling worden vergeleken op bijvoorbeeld ballistische prestatie.

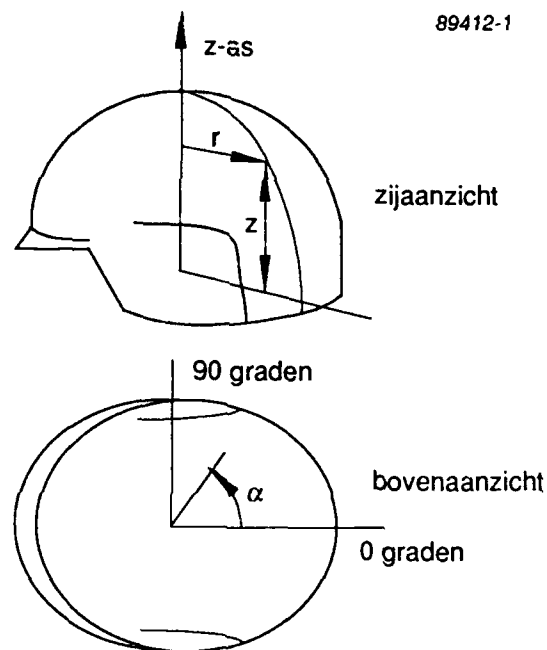
In de hoofdstukken 2 en 3 van dit rapport zal een door Prins Maurits Laboratorium-TNO ontwikkelde methode worden beschreven waarmee op relatief eenvoudige wijze de buitenoppervlakte en de oppervlakte van het neutrale vlak kan worden bepaald. Tevens zal in hoofdstuk 4 worden ingegaan op de nauwkeurigheid van de resultaten en zullen in hoofdstuk 5 de resultaten van een aantal metingen worden gegeven.

For	
<input checked="checked" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Availability Codes	
Det	Avail and/or Special
A-1	

2 BESCHRIJVING METHODE VOOR BEPALING OPPERVLAKTE

In dit hoofdstuk zal de hoofdlijn van de meetmethode om de buitenoppervlakte en de oppervlakte van het zogenaamde neutrale vlak van een helm te bepalen worden besproken.

Bij de gehanteerde methode wordt uitgegaan van een meting aan het object zelf. Van een groot aantal punten op het buitenoppervlak van de helm worden de coördinaten gemeten waarna op rekenkundige wijze de oppervlakte bepaald wordt. Voor de gehele meetprocedure worden assen en richtingen gedefinieerd ten opzichte van de helm volgens figuur 1.



Figuur 1 Definitie van assenstelsel en positionering van helm

De definitie van de richtingen en assen ten opzichte van de helm is zodanig gekozen dat het spiegel-symmetrievlak van de helm samenvalt met de z-as en de richting van 0 graden. Verder is er een hoekverdeling gemaakt met de z-as als centrum. Aan het helmoppervlak worden nu metingen verricht door voor regelmatig verdeelde hoeken α de straal r en de hoogte z van diverse punten op de helmcontour te bepalen. Slechts de helft van de helm hoeft te worden opgemeten.

Na opmeten van de helm worden de meetgegevens ingelezen in een computerprogramma en worden de hoek α en de straal r omgezet in een x - en een y -coördinaat voor de bijbehorende z -coördinaat. Door de aldus verkregen punten worden driehoekige oppervlakken gevormd, die tezamen een benadering van de helmvorm zijn. Gekozen is voor driehoekige elementen omdat drie hoekpunten steeds in een vlak liggen. Door nu de oppervlaktes van alle driehoeken te sommeren komt men tot een benadering voor de buitenoppervlakte van de helm. Door de verdeling van de punten fijn genoeg te kiezen wordt de gewenste nauwkeurigheid van $\pm 1\%$ behaald. Hier wordt op ingegaan in paragraaf 4.4.

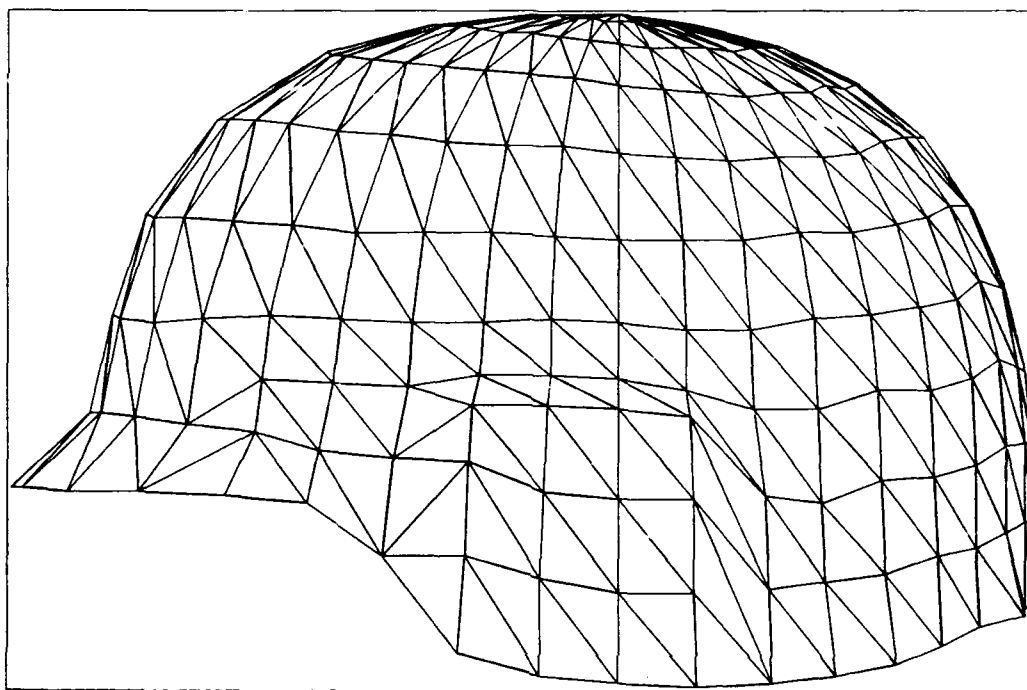
De oppervlakte van het neutrale vlak wordt bepaald door de gemeten punten in een richting loodrecht op het helmoppervlak, over een afstand van de halve helmdikte naar binnen te verplaatsen. Vervolgens wordt de procedure van het formeren van driehoeken door de punten herhaald en kan wederom de oppervlakte worden berekend.

De voordelen van de hierboven beschreven methode zijn:

- de meting levert een reproduceerbaar resultaat doordat deze eenduidig vastgelegd is;
- de meting heeft een hoge mate van nauwkeurigheid;
- men heeft de nauwkeurigheid in de hand middels het aantal meetpunten;
- nadat de helm is opgemeten en de coördinaten bekend zijn, heeft men de mogelijkheid rekenkundige bewerkingen uit te voeren op de meetgegevens. Tevens kan met behulp van tekenprogrammatuur een representatie worden gemaakt van het opgemeten object waardoor de meting kan worden gecontroleerd. Een voorbeeld van het resultaat van een testmeting is gegeven in figuur 2.

Een nadeel is dat de meetprocedure per helm ca. 4 uur in beslag neemt.

Een andere gehanteerde meetmethode berust op het beplakken van het helmoppervlak met papierstroken met een eenvoudig te bepalen oppervlakte. Deze methode heeft het voordeel dat hij met zeer beperkte middelen is uit te voeren. Echter de nauwkeurigheid is zeer afhankelijk van de accuratesse van de uitvoerende en het resultaat is minder goed reproduceerbaar. De benodigde tijd voor de hele procedure is ongeveer gelijk aan de meetprocedure als beschreven in deze rapportage, dus exclusief de berekeningen. De 'plakmethode' heeft daarnaast zo zijn beperkingen; het is niet mogelijk om verdere bewerkingen uit te voeren op het resultaat en daarmee de neutrale oppervlakte te bepalen.



Figuur 2 **Representatie van meetresultaten**

3 DE METING

De meting wordt verricht met behulp van een freesbank waarbij in plaats van een frees een meetraster in de spil is gemonteerd. De meetopstelling is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3 De meetopstelling

De opstelling bestaat uit een freesbank van het merk MAHO, type MH 600, uitgerust met meters met digitale uitlezing die de verplaatsingen in x, y en z richting aangeven. De afleesnauwkeurigheid van de meters en de geometrienauwkeurigheid van de freesbank en meetinstallatie bedraagt samen $\pm 0,01$ mm. De starre meettaster is in de spil gemonteerd en heeft een dusdanige vorm dat alle punten op het helmoppervlak bereikbaar zijn. Het uiteinde van de taster staat onder een hoek van 45 graden met de verticale as. De punt van de taster is bij benadering scherp, zodat geen meetfouten worden geïntroduceerd ten gevolge van de afwikkeling van de taster langs de helm. De helm wordt met behulp van een aluminium strip op de rondtafel vastgezet en op enkele plaatsen ondersteund door vulstukken.

Voordat de meting uitgevoerd kan worden moet de helm op de rondtafel gemonteerd worden waarbij de helm nauwkeurig uitgelijnd wordt. Er moet speciaal op gelet worden dat de z-as (de spil) door het spiegel-symmetrievlak van de helm gaat en dat het symmetrievlak van de helm samenvalt met één van de assen van de rondtafel. Dit uitlijnen van de helm en het bepalen van de ligging van het symmetrievlak is van invloed op de uiteindelijk berekende helmoppervlakte. Omdat slechts de helft van de helm wordt opgemeten, komt een foutieve ligging van het symmetrievlak met een factor twee tot uiting in het eindresultaat. Een controle op de juistheid van de ligging van het symmetrievlak is eenvoudig uit te voeren door de helmafmeting loodrecht op het symmetrievlak te bepalen en deze waarde te vergelijken met de waarde volgend uit de meting.

Bij het uitvoeren van de meting wordt de rondtafel in de stand 0 graden geplaatst waarna langs een kromme een aantal equidistant verdeelde punten worden opgemeten op het helmoppervlak. De helm wordt hierbij onder de taster door bewogen door verplaatsing in één horizontale en in verticale richting. De taster wordt op de aangegeven punten gepositioneerd waarbij de aandrukkracht van de taster op het oppervlak voor alle punten zo veel mogelijk constant wordt gehouden. De verplaatsingen in horizontale en verticale richting worden gemeten ten opzichte van het eerste meetpunt bovenop de helm, daar waar de z-as het helmoppervlak doorsnijdt. Het meten van de punten gebeurt met een nauwkeurigheid van 0,01 mm, en deze worden afgelezen op de digitale meters. Nadat voor een bepaalde hoek alle punten tot aan de onderrand zijn opgemeten, wordt de tafel van de freesbank over een aantal graden verdraaid en wordt opnieuw voor een aantal punten de coördinaten bepaald. Het aantal punten per hoek mag variëren zoals ook in figuur 2 te zien is; echter belangrijk is dat punten van opeenvolgende bogen op gelijke hoogte liggen. Deze procedure wordt voortgezet tot de helft van de helm is opgemeten. Nadat de helm is uitgespannen wordt op een aantal plaatsen langs de onderrand de helmdikte opgemeten om later de ligging van het neutrale vlak halverwege de helmdikte te bepalen.

De meetwaarden dienen te worden aangeleverd in een file met een format, zoals is vermeld in bijlage 1. Het aantal gemeten punten per hoek mag verschillen, het programma voor de oppervlakteberekening houdt hier rekening mee. Ook de stapgrootte van de toename in hoekwaarde kan verschillen.

Een drietal punten verdient extra aandacht in verband met de nauwkeurigheid van de meting. Dit zijn achtereenvolgens :

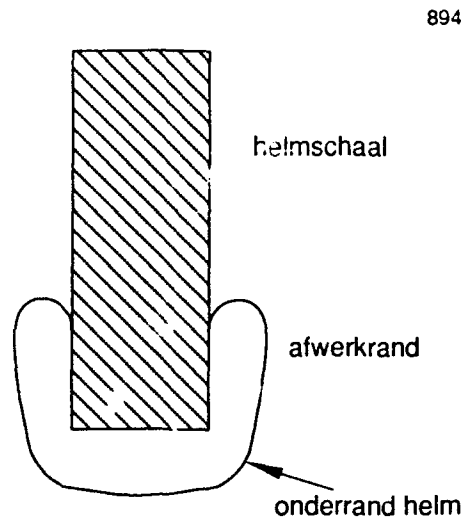
- het contact van de taster met het helmoppervlak;
- de definitie van de ligging van de onderrand en
- sterke krommingen in het helmoppervlak.

Contact taster met helmoppervlak

Doordat met een starre taster wordt gewerkt en de taster op het oog tegen de helm wordt geplaatst, zou de aandrukkracht per meetpunt kunnen variëren. Uit onderzoek is gebleken dat deze mogelijke fout nihil is ten opzichte van de afleesnauwkeurigheid en de meetnauwkeurigheid van de meetinstallatie. Met deze wetenschap is ook een fout ten gevolge van doorbuiging van de taster niet aan de orde. Sommige helmen hebben een ruw oppervlak doordat in de laklaag korrels van ca. 0,1 mm zijn ingebed. Dit introduceert variaties in meetwaarden indien de ene keer de taster wel op een korrel staat en de andere keer niet. Hiermee is tijdens de meting slecht rekening te houden. De invloed van deze variatie op de berekende helmoppervlakte wordt behandeld in paragraaf 4.3.

Ligging onderrand helm

Eveneens van belang voor de nauwkeurigheid van de oppervlaktebepaling is de definitie van de onderrand. Vaak is de onderkant van de helm afgewerkt met een rubberen rand, een zogenaamde afwerkrand. Indien deze sterk afgerond is, is het moeilijk de ligging van de onderrand exact aan te geven; verwijderen is meestal niet mogelijk. De onderrand van de helm is gedefinieerd zoals aangegeven in figuur 4.



Figuur 4 Definitie onderrand helm

Krommingen helmoppervlak

Bij de oorschelpen of het klepje aan de voorzijde van de helm bevindt er zich vaak een knik in de helmschaal met een kleine krommingsradius. Om dergelijke krommingen bij de meting beter te volgen wordt bij de keuze van de meetpunten een grotere dichtheid van de punten ter plaatse van de kromming gekozen en wordt er een aantal meetpunten in de buigpunten van de kromming gekozen.

De meting kan ook worden uitgevoerd met behulp van een xyz-meetmachine. Het voordeel hiervan is dat de meetprocedure in dat geval mogelijk beter gedefinieerd is, waardoor de nauwkeurigheid verder zal verbeteren. Daarnaast zal de meting wellicht sneller uitgevoerd kunnen worden waardoor ook het aantal meetpunten verder kan worden uitgebreid. Er zal dan waarschijnlijk van een polair assenstelsel naar een xyz-assenstelsel omgeschakeld moeten worden, wat een bijstelling van de programmatuur vereist.

4 VALIDATIE EN NAUWKEURIGHEID VAN DE BEREKENING

4.1 Inleiding

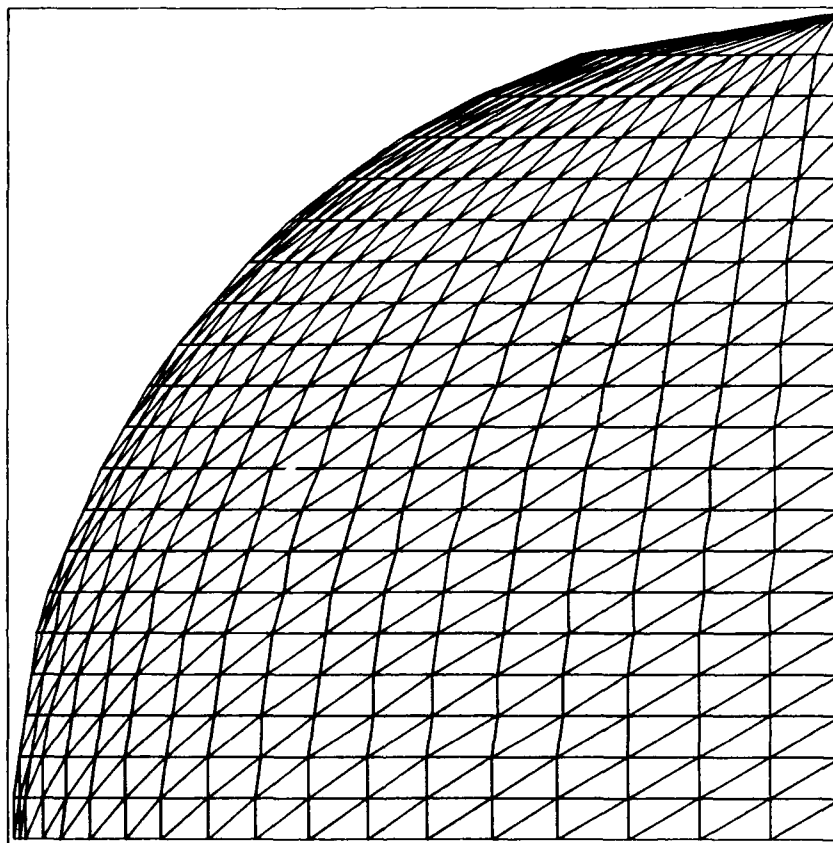
De ontwikkelde programmatuur staat beschreven in bijlage 2. In dit hoofdstuk wordt de methode gevalideerd en de nauwkeurigheid bepaald. We kunnen in dit verband verschillende aspecten onderscheiden:

- de fouten geïntroduceerd door de meting;
- de systematische fout in de berekende oppervlakte ten gevolge van de benadering d.m.v. driehoekige oppervlakteelementen als benadering voor het gekromde oppervlak.

Nadat de foutenbronnen, geïntroduceerd tijdens de meting, afzonderlijk zijn besproken, zal worden nagegaan wat hun respectieve invloed is op de berekende oppervlakte.

4.2 Controle van de programmacode

Het correct functioneren van het programma voor de oppervlakteberekening van de helm is gecontroleerd door het te voeden met waarden van punten die exact op het oppervlak van een bol liggen. Het resultaat van deze controleberekening is te vinden in figuur 5 waar een zij-aanzicht is weergegeven van één-achtste deel van een bol.



Figuur 5 Resultaat van controleberekening (zijaanzicht, pseudo 3D)

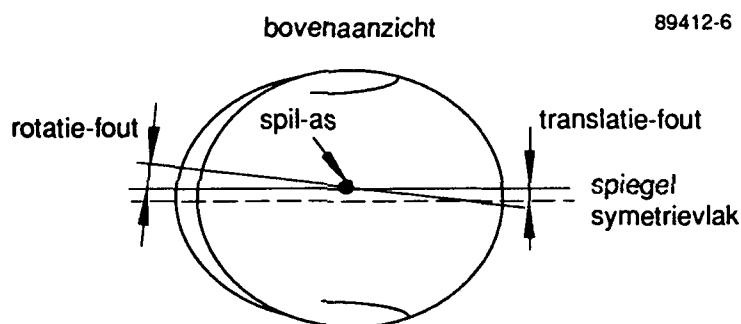
Middels deze figuur kan worden gecontroleerd of het formeren van de driehoeken door de punten goed verloopt en of de berekende oppervlakte overeenkomt met de werkelijke oppervlakte van een bol met eenzelfde straal. Over de afwijking van de werkelijke oppervlakte door de berekende oppervlakte handelt paragraaf 4.4.

Daarnaast is een oppervlakteberekening uitgevoerd aan de hand van metingen aan een werkelijke helm (Amerikaanse Kevlar helm). Voor diezelfde helm is de buitenoppervlakte tevens bepaald door deze te beplakken met stroken papier waarvan de afzonderlijke oppervlakte bepaald is. De berekende oppervlakte in geval van de beschouwde helm bedraagt 121064 mm^2 en de oppervlakte bepaald met behulp van de papierstroken bedraagt 121355 mm^2 . Dit betekent een afwijking van 291 mm^2 of 0.2%. Ondanks het feit dat in de oppervlaktebepaling met behulp van de papierstroken ook een fout zit van onbekende grootte, geven de twee gevonden waarden voldoende vertrouwen met betrekking tot de juistheid van de meting en het programma.

4.3 Meetfouten

Allereerst zal worden ingegaan op de nauwkeurigheid van de meting, waarbij fouten kunnen ontstaan bij het opspannen van de helm en bij de meting zelf.

De helm wordt voor de meting opgespannen op de meettafel, waarbij de ligging van het spiegelsymmetrievlak bepaald dient te worden. Hierbij kan een translatiefout en een rotatiefout worden onderscheiden. In figuur 6 is dit verduidelijkt. De translatiefout wordt gemaakt door het spiegelsymmetrievlak van de helm in zijwaartse richting niet te laten samenvallen met de verticale spil-as. De rotatiefout wordt gemaakt door het spiegelsymmetrievlak onder een hoek te plaatsen met de lengteas van de meettafel.



Figuur 6 Translatiefout en rotatiefout bij het opspannen van de helm

De draaiing van de meettafel is recht onder de spil-as geplaatst door de taster op een hiertoe aangegeven merkteken in de meettafel te plaatsen. De zijwaartse ligging van het spiegelsymmetrievlak van de helm is vervolgens bepaald door opmeten van de helm. Dit geschiedt met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5$ mm. De rotatiestand van de helm ten opzichte van de lengteas van de meettafel is bepaald aan de hand van de positie van de schroefgaten in de helmschaal; na analyse van de fout in deze stand blijkt deze ± 1 mm te bedragen aan de buitenomtrek van de helm.

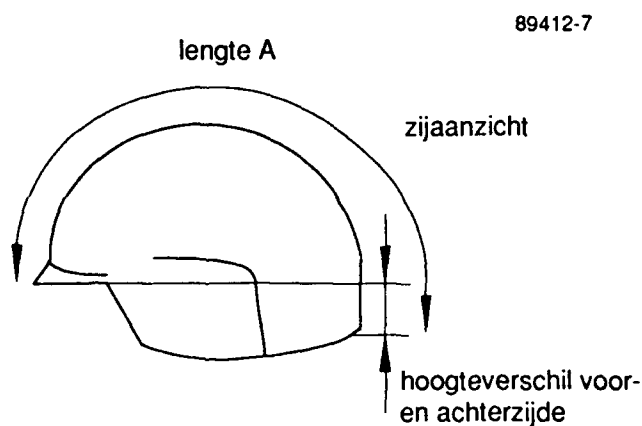
Tijdens de meting worden naast bovengenoemde fouten nog een viertal fouten geïntroduceerd die bestaan uit :

- de afleesfout van de ingestelde hoek;
- een fout door onduidelijkheid in de exacte ligging van een afgeronde helmrand;
- de fout in het bepalen van de hoogte van het meetpunt, bestaande uit een meetfout en een afleesfout en
- de fout in het bepalen van de straal van het meetpunt, eveneens bestaande uit een meetfout en een afleesfout.

De afleesfout van de ingestelde hoek is \pm een half schaaldeel en bedraagt $\pm 1/6$ graad. De fout in de hoogtebepaling wordt veroorzaakt door de variatie in de positie van de taster en of deze wel of niet op een oppervlakteruwheid staat en daarnaast nog een afleesfout en een geometriefout. De fout ten gevolge van de oppervlakteruwheid bedraagt naar schatting ± 0.1 mm en de afleesfout en geometriefout bedragen samen ± 0.01 mm. Dit geeft een totale fout van ± 0.11 mm. Voor de bepaling van de straal bedraagt de fout eveneens ± 0.11 mm. De fout in de ligging van de onderrand wordt geschat op ± 0.5 mm.

In het navolgende zal worden nagegaan wat de invloed is van de vastgestelde foutenbronnen op de totale berekende oppervlakte.

Zoals vastgesteld is de rotatiefout, gemaakt bij de bepaling van de richting van het symmetrievlak ± 1 mm aan de omtrek van de helm en de translatiefout voor het symmetrievlak van de helm van ± 0.5 mm. De fout in de helmoppervlakte gemaakt door een rotatiefout wordt veroorzaakt doordat de achterzijde van de helm verder naar onder toe doorloopt dan aan de voorzijde en de helm slechts voor de helft wordt opgemeten. Zie hiervoor figuur 7.



Figuur 7 Oppervlaktefout ten gevolge van rotatiefout

Het hoogteverschil bedraagt voor de beschouwde helmen gemiddeld 13 mm. De rotatiefout van ± 1 mm resulteert samen met het gemiddeld hoogteverschil van 13 mm tot een oppervlaktefout van $\pm 13 \text{ mm}^2$. Deze fout dient verdubbeld te worden, omdat het betrekking heeft op de halve helm. Voor de totale helmoppervlakte wordt de fout dus $\pm 26 \text{ mm}^2$.

Vervolgens dient de oppervlaktefout ten gevolge van de translatiefout bepaald te worden. De lengte van de kromme langs het buitenoppervlak is aangegeven als de 'lengte A' in figuur 7. Deze wordt gevormd door de doorsnijding van het symmetrievlak met het buitenoppervlak van de helm en

bedraagt gemiddeld 450 mm. De fout gemaakt in de oppervlakte bedraagt hierdoor: $0.5 \cdot 450 = \pm 225 \text{ mm}^2$. Omdat slechts de helft van de helm wordt gemeten en de berekende oppervlakte verdubbeld wordt wordt ook de fout verdubbeld en wordt de totale fout $\pm 450 \text{ mm}^2$. De totale fout t.g.v. het opspannen bedraagt hierdoor: $26 + 450 = \pm 476 \text{ mm}^2$.

Door een onnauwkeurige bepaling van de ligging van de onderrand wordt eveneens een fout gemaakt. Deze fout heeft uitsluitend een component in verticale richting en kan alleen omhoog gericht zijn, omdat het punt anders automatisch onder de helmrand zou liggen. De fout heeft naar schatting een grootte van 0.5 mm. De lengte van de onderrand van een helm bedraagt gemiddeld 850 mm zodat de fout in de oppervlakte wordt: $0.5 \cdot 850 = -425.0 \text{ mm}^2$. Omdat deze fout een te klein berekende oppervlakte tot gevolg heeft, heeft deze een negatieve waarde.

De invloed van de fouten in de meting van de hoogte, de straal en de hoek op de berekende oppervlakte zijn moeilijk exact te bepalen, omdat we bij de berekening te maken hebben met een groot aantal aaneengesloten oppervlakte-elementen. Een fout in een hoekpunt van de ene driehoek heeft ook invloed op de aanliggende driehoeken en oppervlaktefouten voor de ene driehoek worden waarschijnlijk gecompenseerd door de andere driehoek. Daarom zal in eerste instantie een afschatting worden gemaakt van de maximale afwijking ten gevolge van meetfouten. Indien blijkt dat deze afwijking groot is ten opzichte van de andere fouten zal een meer gedetailleerde foutenberekening noodzakelijk zijn. Met behulp van het computerprogramma is een afschatting gemaakt door de uiterste grenzen van de fouten bij de meetwaarden op te tellen of af te trekken. Hierbij is er vanuit gegaan dat de fouten onafhankelijk zijn van elkaar. De fout in straal en hoogte bedroegen beide $\pm 0.11 \text{ mm}$ en de fout in de hoek $\pm 1/6$ graad. Een fout in de gemeten straal blijkt de grootste invloed te hebben. De maximale afwijking in de berekende oppervlakte voor de hele helm bedraagt $\pm 147 \text{ mm}^2$.

De afwijking in de oppervlakte ten gevolge van meetfouten in straal, hoogte en hoek blijkt de kleinste te zijn van de foutenbronnen ten gevolge van de opspanning, de onderrand en de meetfouten. Een meer gedetailleerde evaluatie van de meetfouten lijkt dan ook niet nodig. De grootste fout wordt gemaakt bij de opspanning van de helm.

Worden de afwijkingen ten gevolge van de foutenbronnen samen genomen dan komen we tot de volgende nauwkeurigheid van de berekende oppervlakte:

- opspanning	- 476	+ 476
- onderrand	- 425	+ 0.0
- meetfouten	-147	+ 147
- totaal	- 1048	+ 623

Relatief komt dit neer op -0.9% en $+0.5\%$ bij een nominale helm buitenoppervlakte van 122500 mm^2 . Deze fout houdt in dat de oppervlakte in het beste in cm^2 opgegeven kan worden en de nominale helmoppervlakte wordt dan 1225 , -10 en $+6 \text{ cm}^2$. Doordat de nauwkeurigheid asymmetrisch is, is het bepalen van het aantal significante cijfers lastiger. Het lijkt echter redelijk aan te nemen dat de 5 het eerste onzekere cijfer is. De nauwkeurigheid kan worden verhoogd door de hele helm op te meten. In dat geval vervalt de fout ten gevolge van de opspanning doordat de ligging van het symmetrievlak niet meer bepaald hoeft te worden.

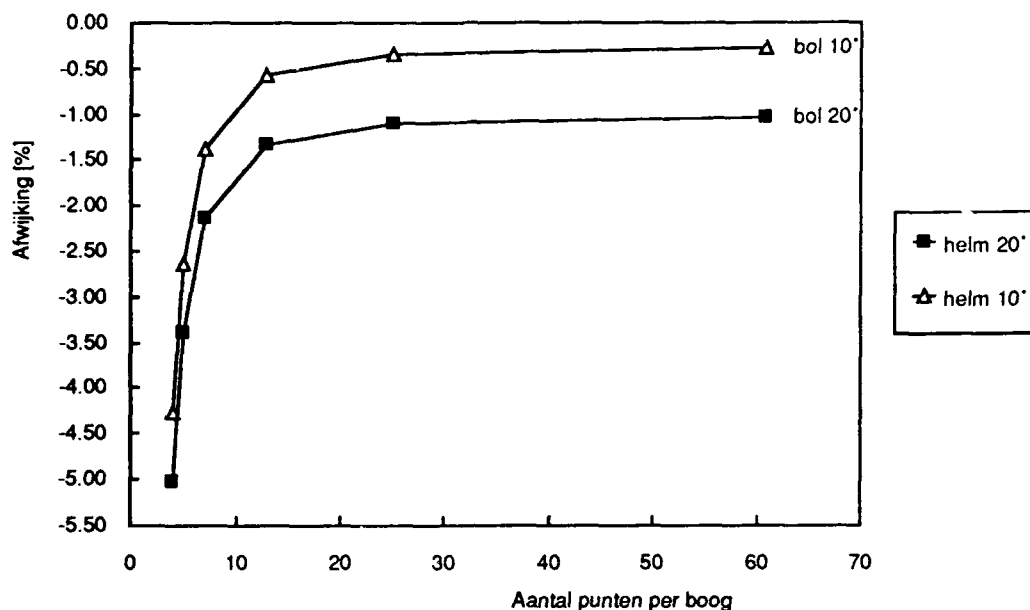
4.4 Systematische fouten

Naast de meetfouten herbergt de berekeningsmethode een systematische fout die wordt veroorzaakt door de benaderingsmethode van het buitenoppervlak door middel van driehoekige elementen. Doordat de driehoeken altijd vlak zijn, zal de oppervlakte van iedere driehoek steeds kleiner zijn dan de werkelijke oppervlakte van het gekromde element dat het representeert. Het probleem is geschetst in figuur 8.



Figuur 8 Benadering van het gekromde oppervlak door middel van driehoekige elementen

Door nu bij de meting het aantal meetpunten groot te kiezen kan de benadering voldoende nauwkeurig worden gemaakt. Het aantal punten kan worden vergroot door de hoekverdraaiing in het horizontale vlak tussen twee bogen met meetpunten kleiner te maken en door het aantal meetpunten per boog te vergroten. Voor een bol met een straal van 120 mm is voor een aantal combinaties van de hoekverdraaiing en het aantal punten bepaald hoe goed de benadering wordt. De straal van 120 mm is gekozen, omdat dit de gemiddelde krommingsstraal is van een helm. De gevonden procentuele afwijkingen tussen de werkelijke boloppervlakte en de berekende oppervlakte zijn te vinden in figuur 9.



Figuur 9 Afwijking (systematische fout) in berekende boloppervlakte afhankelijk van het aantal meetpunten op een bol met een straal van 120 mm

Uit de grafiek van figuur 9 valt op te maken dat bij een hoekverdeling van 10 graden en een verdeling van meer dan 13 punten per boog een systematische afwijking van minder dan 0.6 % wordt gerealiseerd. Deze afwijkingen gelden voor een bol. Door het aantal meetpunten van een werkelijke helm op een gelijke wijze te variëren is nagegaan of de afwijking in de berekende helmoppervlakte eenzelfde gedrag vertoont. Hiertoe zijn in figuur 9 tevens een aantal punten voor een werkelijke helm ingetekend. Het blijkt dat de procentuele afwijking in de berekende oppervlakte van de helm een zelfde gedrag vertoont voor het aantal onderverdelingen van het oppervlak als bij de bol. We kunnen dus de berekende helmoppervlakte corrigeren tot de werkelijke helmoppervlakte middels de grafiek uit figuur 9. Met name indien voor de ene helm de oppervlakte met een groter aantal punten is bepaald dan voor een andere, kan een betere vergelijking worden gemaakt tussen de twee helmen indien de correctie toegepast wordt. De correctiefactoren zijn voor de duidelijkheid vermeld in tabel 1.

Tabel 1 Correctiefactoren voor systematische fout afhankelijk van het aantal meetpunten per boog en hoek tussen twee bogen

Aantal meetpunten per boog	Hoek (graden)		
	5	10	15
9	1.0092	1.0111	1.0142
10	1.0078	1.0097	1.0129
11	1.0064	1.0084	1.0115
12	1.0051	1.0070	1.0102
13	1.0037	1.0056	1.0088
14	1.0035	1.0054	1.0086
15	1.0033	1.0052	1.0084
16	1.0031	1.0051	1.0083
17	1.0029	1.0049	1.0081
18	1.0028	1.0047	1.0079
19	1.0026	1.0045	1.0077
20	1.0024	1.0043	1.0075
21	1.0022	1.0041	1.0073
22	1.0020	1.0040	1.0072
23	1.0018	1.0038	1.0070
24	1.0017	1.0036	1.0068
25	1.0015	1.0034	1.0066
26	-	1.0034	1.0066

Het blijkt dat de systematische fout in dezelfde orde van grootte ligt als de fouten geïntroduceerd door de meting. Een correctie van de berekende oppervlakte voor de systematische fout is zeker zinvol, ten eerste omdat het een systematische fout betreft en ten tweede omdat de correctie in het significantie gebied ligt.

5 MEET- EN BEREKENINGSRESULTATEN

Voor een vijftal helmen zijn metingen en berekeningen uitgevoerd waarvoor in onderstaande paragrafen de resultaten worden weergegeven.

5.1 National Plastics helm

Van dit type helm bestaan drie uitvoeringen die alle in dezelfde mal gemaakt zijn. Hierdoor is de vorm van de buitenzijde identiek en verschilt alleen de dikte. Het eerste type is gemaakt van Kevlar en ballistisch Nylon, het tweede type van Twaron en ballistisch Nylon en het derde type van Polyetheen en ballistisch Nylon.

De metingen aan de helm zijn uitgevoerd met een puntenverdeling, waarbij de bogen steeds over een hoek van 10 graden verdraaid staan en er per boog gemiddeld 13 punten zijn gemeten. Dit resulteert volgens tabel 1 in een correctiefactor van 1.0056. De gemeten helmdikten, de berekende helmoppervlakte en de toegepaste correctie zijn vermeld in de tabellen 2 en 3.

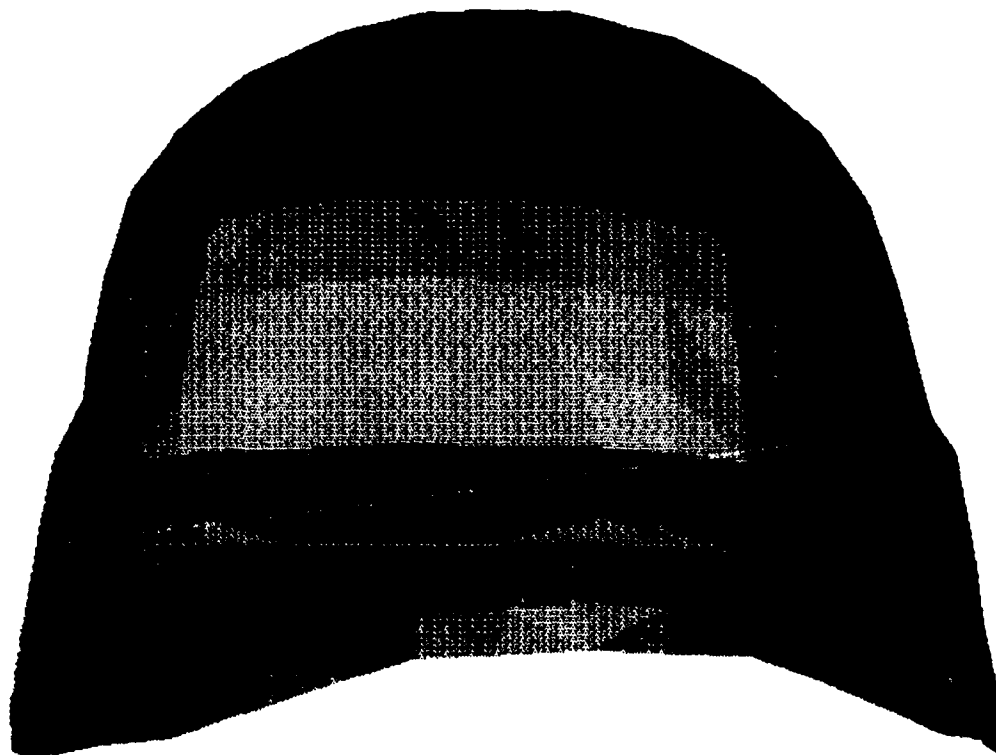
Tabel 2 Gemeten helmdikten.

Helm type	meting 1 dikte (mm)	meting 2 dikte (mm)	meting 3 dikte (mm)	gemiddeld dikte (mm)
Kevlar/Nylon	7.7	6.8	7.1	7.2
Twaron/Nylon	7.2	7.9	8.1	7.7
	7.0	7.2	-	7.1

Tabel 3 Berekende helmoppervlakte en correctie voor systematische fout

Helm type	Oppervlak	ongecorrigeerd (mm ²)	correctiefactor	gecorrigeerd (cm ²)
Alle helmen	buiten	125160	1.0056	1259
Kevlar/Nylon	neutr.	119096	1.0056	1198
Twaron/Nylon	neutr.	118700	1.0056	1194
Polyetheen/Nylon	neutr.	119176	1.0056	1198

Het resultaat van de meting en de berekening is weergegeven in figuur 10.



Figuur 10 Weergave van de National Plastics helm

5.2 Twaron helm van Schuberth Helme Gmbh

Deze helm bestaat in één uitvoering. De metingen aan de helm zijn uitgevoerd met een puntenverdeling waarbij de bogen steeds over een hoek van 10 graden verdraaid staan en er per boog gemiddeld 24 punten zijn gemeten. Dit resulteert volgens de grafiek van tabel 1 in een correctiefactor van 1.0036. De gemeten helmdikten, de berekende helmoppervlakte en de toegepaste correctie zijn vermeld in de tabellen 4 en 5.

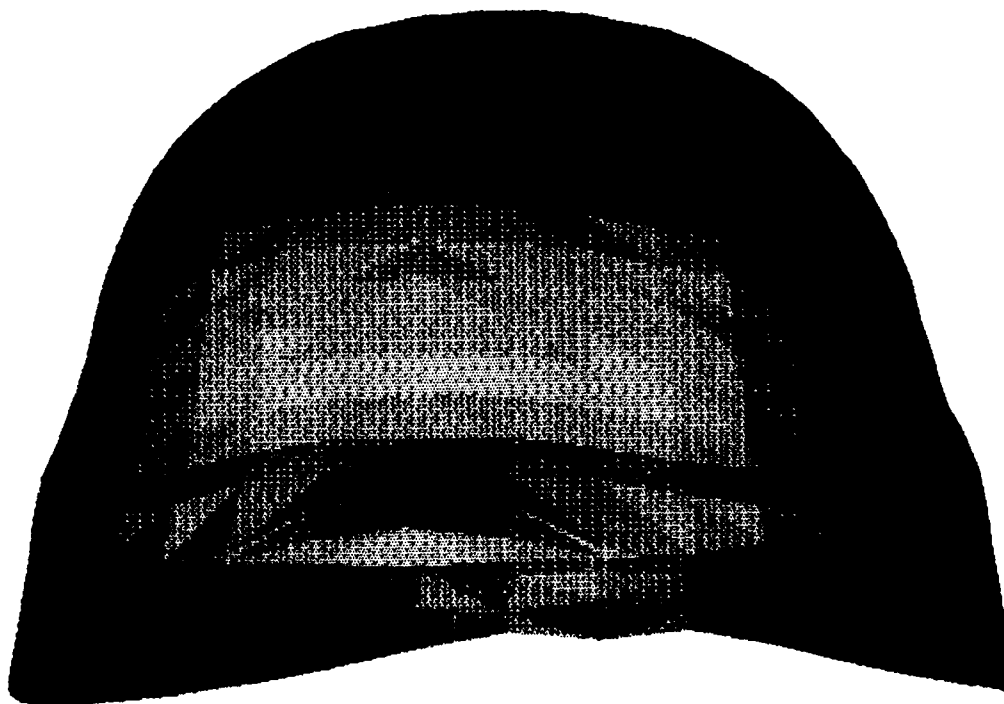
Tabel 4 Gemeten helmdikten

meting 1 dikte (mm)	meting 2 dikte (mm)	meting 3 dikte (mm)	gemiddeld dikte (mm)
8.0	9.1	8.1	8.4

Tabel 5 Berekende helmoppervlakte en correctie voor systematische fout

Helm type	Oppervlak	ongecorrigeerd (mm ²)	correctiefactor	gecorrigeerd (cm ²)
Schubert	buiten	122172	1.0036	1226
	neutr.	119519	1.0036	1199

Het resultaat van de meting en de berekening is weergegeven in figuur 11.



Figuur 11 Weergave van de Schubert helm

5.3 Induyco helm

Van dit type helm bestaan twee uitvoeringen die beide in dezelfde mal gemaakt zijn. Hierdoor is de vorm van de buitenzijde identiek en verschilt alleen de dikte. Het eerste type is gemaakt van Kevlar gebonden met een phenolhars en het tweede type van Polyetheen gebonden met een vinylester hars. De metingen aan de helm zijn uitgevoerd met een puntenverdeling waarbij de bogen steeds over een hoek van 10 graden verdraaid staan en er per boog gemiddeld 10 punten zijn gemeten. Dit resulteert volgens de grafiek van tabel 1 in een correctiefactor van 1.0097. De gemeten helmdikten, de berekende helmoppervlakte en de toegepaste correctie zijn vermeld in de tabellen 6 en 7.

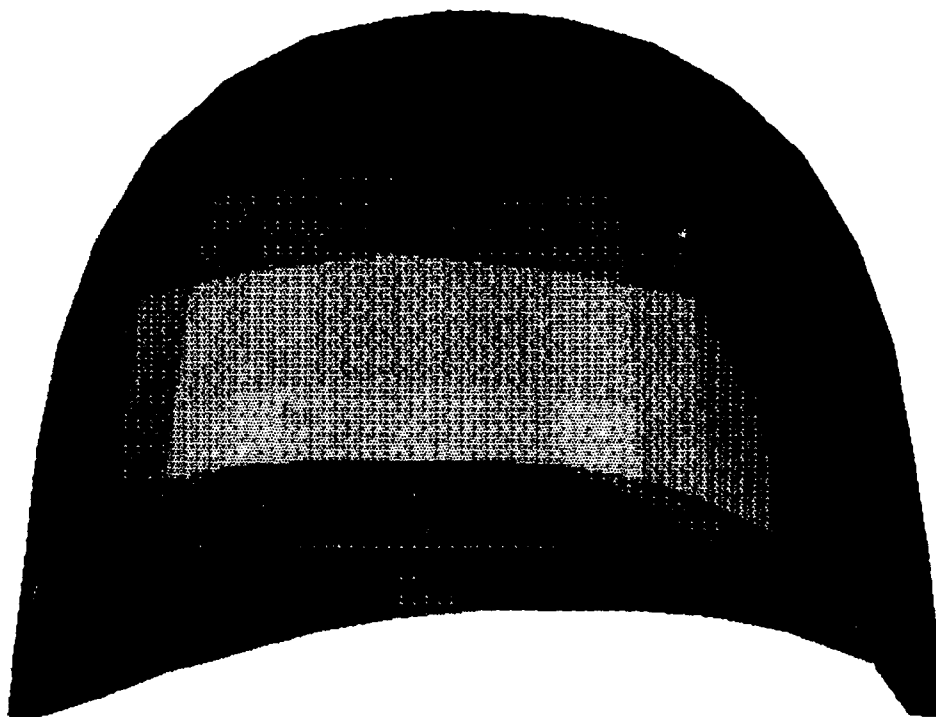
Tabel 6 Gemeten helmdikten

Helm type	meting 1 dikte (mm)	meting 2 dikte (mm)	meting 3 dikte (mm)	gemiddeld dikte (mm)
Kevlar	9.0	7.4	7.5	8.0
Polyetheen	11.4	13.5	10.7	11.9

Tabel 7 Berekende helmoppervlakte en correctie voor systematische fout

Helm type	Oppervlak	ongecorrigeerd (mm ²)	correctiefactor	gecorrigeerd (cm ²)
Beide helmen	buiten	114193	1.0097	1153
Kevlar	neutr.	107502	1.0097	1085
Polyetheen	neutr.	104271	1.0097	1053

Het resultaat van de meting en de berekening is weergegeven in figuur 12.



Figuur 12 Weergave van de Induyco helm

5.4 VDN helm

Van dit type helm bestaan twee uitvoeringen die beide in dezelfde mal gemaakt zijn. Hierdoor is de vorm van de buitenzijde identiek en verschilt alleen de dikte. Het eerste type is gemaakt van staal en Twaron en het tweede type van staal en Polyetheen.

De metingen aan de helm zijn uitgevoerd met een puntenverdeling waarbij de bogen steeds over een hoek van 10 graden verdraaid staan en er per boog gemiddeld 11 punten zijn gemeten. Dit resulteert volgens de grafiek van tabel 1 in een correctiefactor van 1.0084. De gemeten helmdikten, de berekende helmoppervlakte en de toegepaste correctie zijn vermeld in de tabellen 8 en 9.

Tabel 8 Gemeten helmdikten

Helm type	meting 1 dikte (mm)	meting 2 dikte (mm)	meting 3 dikte (mm)	gemiddeld dikte (mm)
Staal/Twaron	3.9	3.8	-	3.9
Staal/Polyetheen	3.6	3.7	3.5	3.6

Tabel 9 Berekende helmoppervlakte en correctie voor systematische fout

Helm type	Opper- vlak	ongecorrigeerd (mm ²)	correctiefactor	gecorrigeerd (mm ²)
Beide helmen	buiten	111244	1.0084	1122
Staal/Twaron	neutr.	108040	1.0084	1089
Staal/Polyetheen	neutr.	108303	1.0084	1092

5.5 Polyetheen helm van Ulbricht's Wwe

Van dit type helm bestaan twee uitvoeringen. In tegenstelling tot helmen van andere merken zijn de helmen van Ulbricht's Wwe niet in dezelfde mal gemaakt. Dit komt doordat het fabricage proces verschilt ten gevolge van de gebruikte materialen. Het eerste type is gemaakt van Polyetheen en het tweede type van staal en Kevlar.

De metingen aan de beide helmen zijn uitgevoerd met een punten verdeling waarbij de bogen steeds over een hoek van 10 graden verdraaid staan en er per boog gemiddeld 11 punten zijn gemeten. Dit resulteert volgens de grafiek van tabel 1 in een correctiefactor van 1.0084. De gemeten helmdikten en de berekende helmoppervlakte en de toegepaste correctie zijn vermeld in de tabellen 10 en 11.

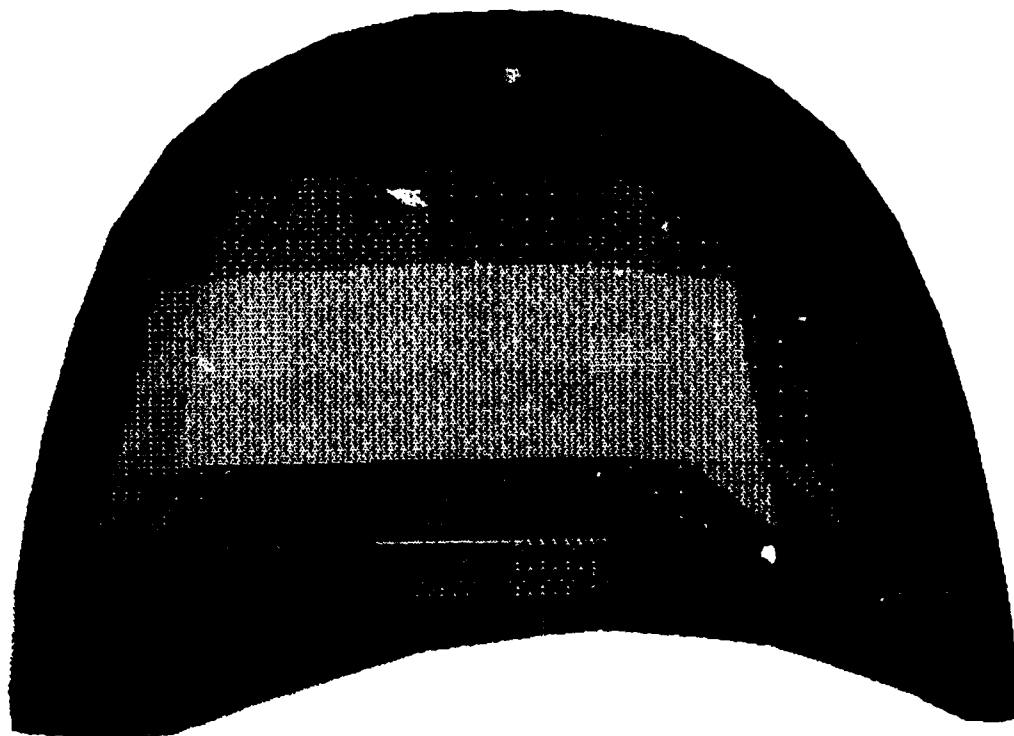
Tabel 10 Gemeten helmdikten

Helm type	meting 1 dikte (mm)	meting 2 dikte (mm)	meting 3 dikte (mm)	gemiddeld dikte (mm)
Polyetheen	9.4	10.0	10.2	9.9
Staal/Kevlar	5.6	5.0	5.7	5.5

Tabel 11 Berekende helmoppervlakte en correctie voor systematische fout

Helm type	Oppervlak	ongecorrigeerd (mm ²)	correctiefactor	gecorrigeerd (mm ²)
Polyetheen	buiten	125019	1.0084	1261
	neur.	116435	1.0084	1174
Staal+Kevlar	buiten	126023	1.0084	1271
	neur.	121209	1.0084	1222

Het resultaat van de meting en de berekening is weergegeven in figuur 13.



Figuur 13 Weergave van meet- en berekeningsresultaten voor de helm van Ulbricht's Wwe

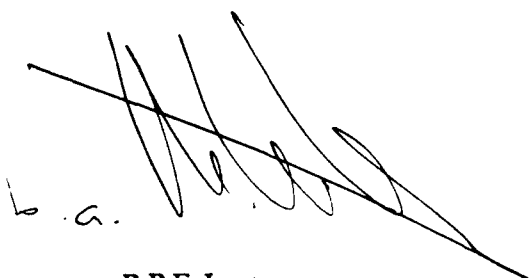
6 CONCLUSIES

In dit rapport is een methode geschetst waarmee op relatief eenvoudige wijze de buitenoppervlakte en de oppervlakte van het neutrale vlak van een helm te bepalen zijn. De methode is gebaseerd op het meten van een hoeveelheid regelmatig verdeelde punten op het buitenoppervlak van een helm.

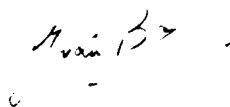
Met de gebruikte middelen bedraagt de fout in de eindwaarde van de helmoppervlakte $-0,9\%$ en $+0,6\%$.

De gebruikte methode heeft het voordeel boven andere methoden, dat hij reproduceerbare resultaten levert en dat op de gemeten punten mathematische bewerkingen uitgevoerd kunnen worden.

7 ONDERTEKENING



R.P.F. Joosten
(auteur)



J.L.M.J. van Bree
(projectleider)

BIJLAGE 1 FORMAT VAN MEETGEGEVENS

De meetresultaten dienen te worden opgegeven in het volgende format teneinde ze te kunnen inlezen in de programmatuur:

d_{gem}

a_1 , z_1 , r_1

a_1 , z_2 , r_2

a_1 , z_3 , r_3

a_1 , z_4 , r_4

..

..

a_1 , z_n , r_n

a_2 , z_1 , r_1

..

..

a_3 , z_1 , r_1

..

..

a_m , z_n , r_n

Waarbij:

d_{gem} = de gemiddelde helmdikte;

a_i = de hoek ten opzichte van het spiegelsymmetrievlak voor punt i;

z_i = de z-coördinaat van punt i;

r_i = de straal ten opzichte van de z-as van punt i.

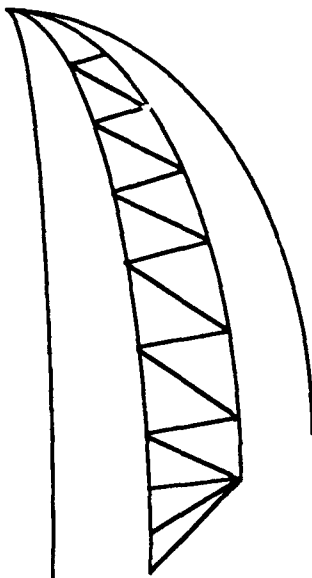
BIJLAGE 2 BESCHRIJVING VAN HET OPPERVLAKTEBEREKENINGSPROGRAMMA EN STROOMSCHEMA

Programma beschrijving

In het kort zal hier het programma worden besproken waarmee de oppervlakte van de gemeten helm wordt berekend. Ter ondersteuning van deze beschrijving is in figuur 2 het stroomschema weergegeven.

Na opstarten van het programma wordt de gebruiker gevraagd de naam van de file met de meetgegevens, bestaande uit de helmdikte en de coördinaten, in te typen waarna deze meetgegevens worden ingelezen. Deze sequentiële file is de enige invoer van het programma. Tijdens het inlezen van de gegevens wordt geregistreerd hoeveel punten er per boog bij elke hoek zijn gemeten.

Na het inlezen van de gegevens volgt een cyclus voor de berekening van de oppervlakte van de buitenzijde van de helm. Deze cyclus start met het omrekenen van de meetgegevens, die in poolcoördinaten zijn weergegeven, naar cartesische- of xyz-coördinaten. Vervolgens wordt, zoals aangegeven in figuur 2.1, de ruimte tussen twee bogen opgevuld door driehoeken te formeren door de meetpunten.

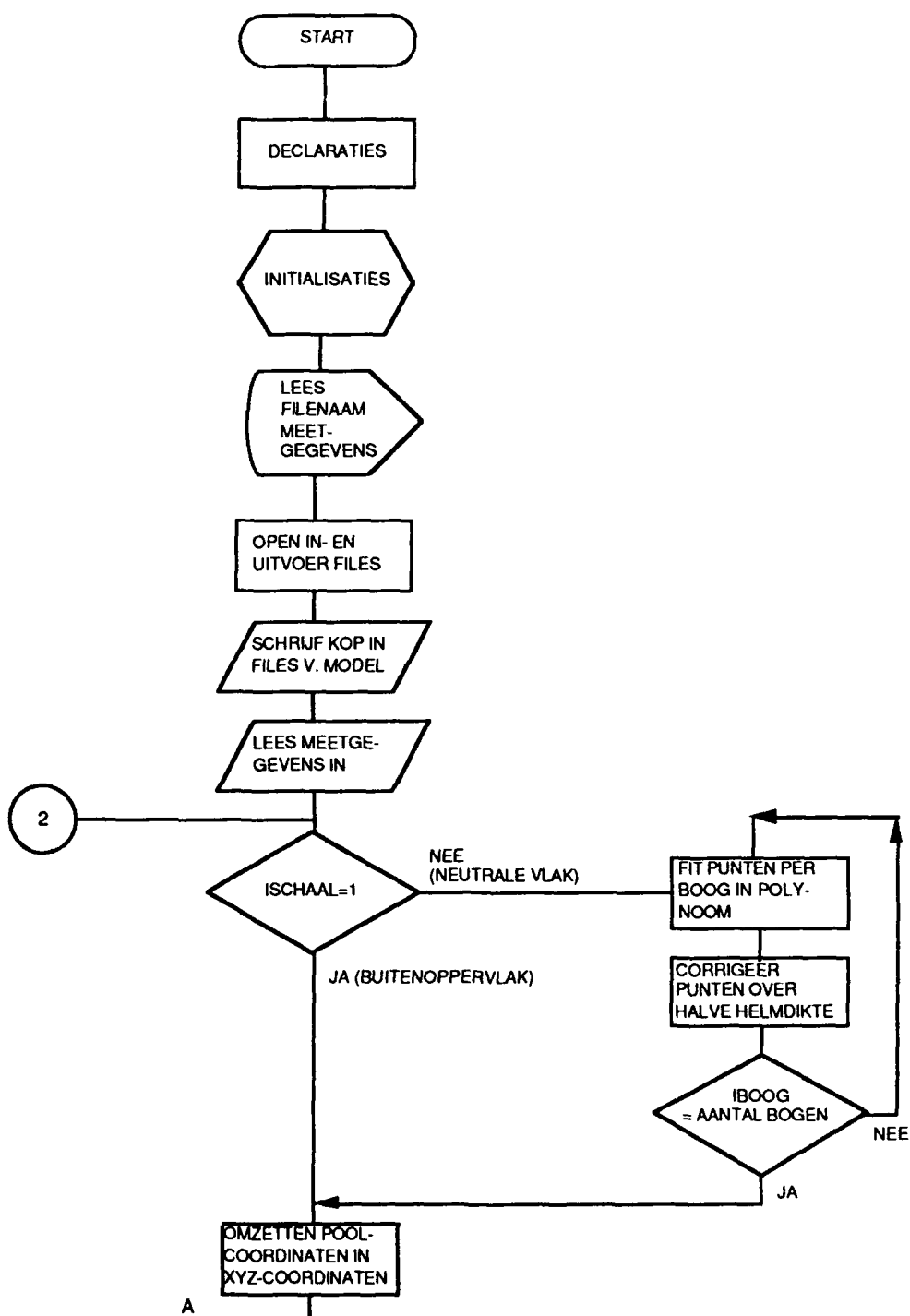


Figuur 2.1 Het formeren van driehoeken door de meetpunten

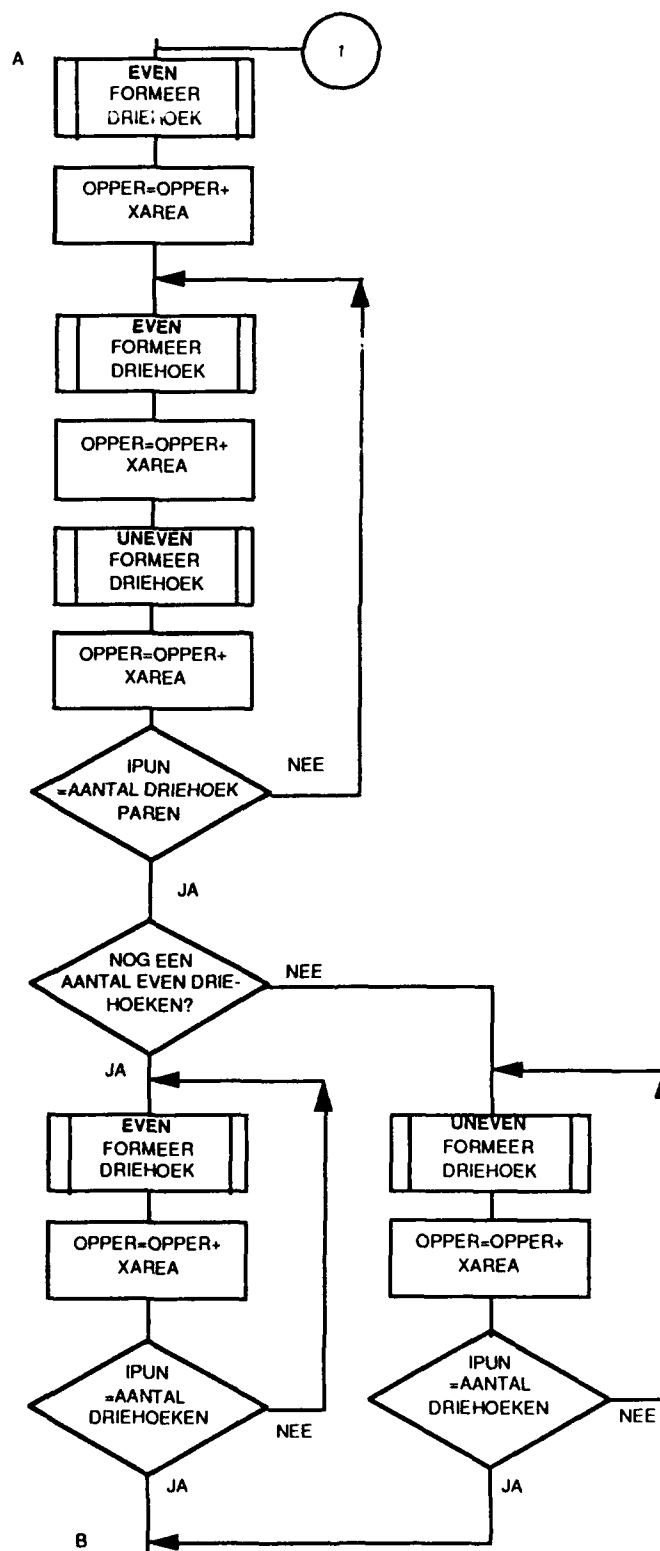
Er wordt hierbij steeds aan de bovenzijde begonnen met een enkele driehoek uitgaande van het gemeenschappelijk punt van alle bogen. Vervolgens worden er een aantal paren van driehoeken geformeerd en tot slot worden er nog een aantal enkele driehoeken geformeerd, afhankelijk van het verschil in aantal meetpunten op de twee naast elkaar liggende bogen. Na het formeren van iedere driehoek wordt direct de oppervlakte berekend en wordt de som bijgehouden van de oppervlaktes van de tot dan toe geformeerde driehoeken.

Als de procedure voor de buitenzijde van de helm is afgewerkt, start een soortgelijke procedure voor het neutrale vlak. Voor de bepaling van de ligging van het neutrale vlak, een vlak dat niet op te meten is, dienen de gemeten punten over de halve helmdikte verplaatst te worden, in de richting van de normaal op het helmoppervlak. Hiertoe wordt per boog een derde-graads polynoom gefit door de meetpunten. Vervolgens wordt aan de hand van de functie van dit polynoom de richting van de normaal in ieder punt bepaald door de eerste afgeleide te bepalen. Tot slot wordt de ligging van de punten in het neutrale vlak berekend door de coördinaten van de meetpunten over een afstand ter grootte van de halve helmdikte te verplaatsen langs de normaal in het betreffende punt. De berekening van de oppervlakte is identiek aan die van het buitenoppervlak en bestaat uit de transformatie van poolcoördinaten naar xyz-coördinaten en de formatie van driehoeken.

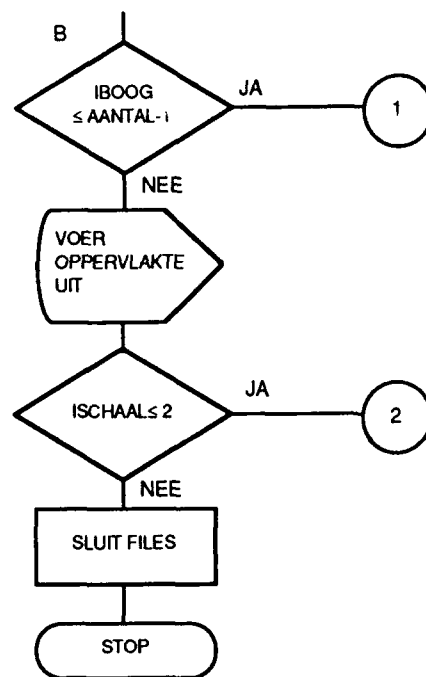
Naast de berekening van de oppervlaktes worden nog twee bestanden aangemaakt voor respectievelijk het buitenoppervlak en het neutrale vlak, waarin de coördinaten van de hoekpunten van iedere driehoek staan opgeslagen. Deze bestanden kunnen direct worden ingelezen in tekenprogramma's waarmee een afbeelding van de opgemeten helm kan worden gemaakt, zoals reeds is aangegeven in figuur 2 van de hoofdttekst. Zo kan de meting en de berekening eenvoudig worden gecontroleerd op juistheid. Indien de ligging van een meetpunt duidelijk afwijkt is dit in één oogopslag te zien.



Figuur 2.2a Stroomschema van het programma voor oppervlakteberekening



Figuur 2.2b Stroomschema van het programma voor oppervlakteberekening



Figuur 2.2c Stroomschema van het programma voor oppervlakteberekening

REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD NL)

1. DEFENSE REPORT NUMBER (MOD-NL) TD92-2024	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER PML1992-83
4. PROJECT/TASK/WORKUNIT NO. 253489412	5. CONTRACT NUMBER A89/KL/422	6. REPORT DATE November 1992
7. NUMBER OF PAGES 33 (2 Annexes)	8. NUMBER OF REFERENCES -	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Method to determine the outer surface area of a helmet (Methode ter bepaling van de buitenoppervlakte van een helm)		
11. AUTHOR(S) Ing. R.P.F. Joosten		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Prins Maurits Laboratory P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) DMKL/PGU P.O. Box 90822, 2509 LV The Hague		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation: ONGERUBRICEERD is equivalent to: UNCLASSIFIED		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) <p>The project within the DMKL for the procurement of combat helmets is in the phase that a number of commercially available helmets must be compared on their performances. The surface area of the helmet is an important factor, because after determining the surface area and the mass of the ballistic shell the so-called area density of the material used can be determined. A low quotient of area density and ballistic limit results into a good performance of the material.</p> <p>For objects with an irregular curved surface it is difficult to determine the outside surface area. For the case of a helmet a method is developed whereby a large number of points on the outside surface are being measured. Therefore through the points triangular elements are formed for which the surface area can easily be calculated. By means of these triangular elements the shape of the helmet is approximated and the surface area calculated is systematically too small. A method to correct for this error has been developed. The accuracy of this method is good enough and is -0.9% en +0.5%.</p> <p>For a number of commercially available helmets the surface area has been determined and have the results been reported here.</p>		
16. DESCRIPTORS Helmets Performance Characteristics Comparison		IDENTIFIERS Determination Surface Area
17A. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) ONGERUBRICEERD	17B. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) ONGERUBRICEERD	17C. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) ONGERUBRICEERD
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17D. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) ONGERUBRICEERD

Distributielijst

- 1 DWOO
- 2 HWO-KL
- 3/4 HWO-KLu
- 5 HWO-KM
- 6 DMKL/PGU
Hoofd PGU Kol. H.J. Poelhekken
- 7/16 DMKL/PGU
Projectofficier Gevechts-PSU Lt.Kol. R Bernasco
- 17/19 TDCK
- 20 Hoofddirecteur DO-TNO
- 21 PML-TNO, Directeur; daarna reserve
- 22 PML-TNO, Directeur Programma; daarna reserve
- 23/27 PML-TNO, Secretariaat Divisie 3, Wapeneffectiviteit
- 28/32 PML-TNO, Secretariaat Divisie 3, Ballistiek
- 33 PML-Documentatie
- 34 PML-Archief